

Łukasz BUDZYŃSKI, Dariusz DŁUGOSZ, Bartosz NIEWIAROWSKI, Maciej ZAJKOWSKI
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

Optyczna transmisja sygnału w magistrali I²C

Inż. Łukasz BUDZYŃSKI

Student Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej, Członek Koła Studenckiego „LUX”. Obszar zainteresowań: projektowanie układów elektronicznych, głównie systemów sterowania niskonapięciowych silników prądu stałego, optoelektroniczne układy transmisji danych.



e-mail: jarkendar@gmail.com

Inż. Dariusz DŁUGOSZ

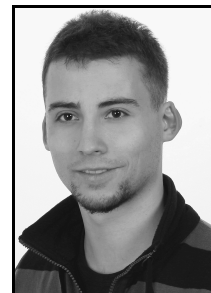
Student Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej, Członek Koła Studenckiego „LUX”. Obszar zainteresowań: projektowanie układów elektronicznych, opracowywanie układów zasilania i sterowania diod i modułów LED oraz optoelektronicznych układów transmisji danych.



e-mail: napadaczus@gmail.com

Inż. Bartosz NIEWIAROWSKI

Student Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej, Członek Koła Studenckiego „LUX”. Obszar zainteresowań: projektowanie układów elektronicznych i optoelektronicznych, programowanie mikroprocesorów, projektowanie układów świetlnooptycznych



e-mail: stralka@o2.pl

Dr inż. Maciej ZAJKOWSKI

Pracownik Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej na stanowisku adiunkta w Katedrze Promieniowania Optycznego. Obszar zainteresowań: światłowody, optoelektronika, technika świetlna, fotometria, energetyka słoneczna. Członek PTETiS, SEP, PKOś. Czynniki uczestniczy w działaniach dotyczących opiniowania projektów unijnych z zakresu edukacji oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii.



e-mail: maczak@we.pb.edu.pl

Streszczenie

Artykuł prezentuje zagadnienia związane z możliwością transmisji sygnału opartego o magistralę I²C poprzez optyczny system światłowodowy. Przedstawiono aplikacje umożliwiające konwersję sygnału magistrali na sygnał optyczny z wykorzystaniem konwertera P82B96. Transmisję światłowodową realizować można poprzez klasyczny układ dioda LED – fotodetektor, układy TOSLINK lub system WDM. Opracowane modelowe aplikacje optycznego łącza obsługujące sygnały magistrali I²C pozwalają na budowę rzeczywistych układów konwersji dwukierunkowego sygnału magistrali do postaci optycznej.

Słowa kluczowe: magistrala I²C, światłowód, LED, fotodetektor, WDM.

Optical signal transmission over I²C bus

Abstract

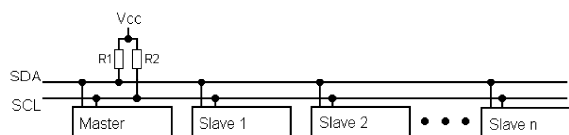
The paper presents the problem connected with possibility of signal transmission over I²C bus through optical system. I²C is a synchronic bus through which data are sent in 8-bit frames (Fig. 3) [4]. It consists practically of two signal lines: The SDA (data line - Serial Data Line), the SCL (clock line - Serial Clock Line) and the ground circuit (Fig. 2). The schematic diagram of a system with I²C bus is shown in Fig. 1. There are three possible solutions of optical application of the bus based on use of a converter P82B96 (Fig. 4) [2] and optical fiber to transfer high-speed signals (the speed about 3,4 Mb/s) over long data transmission lines. The simplest solution of conversion the I²C signal to optical one is a configuration using LED source ($\lambda = 940$ nm) presented in Fig. 5. The PIN-photodiode works with the maximum sensitivity of about 940 nm. There should be applied three separate optical lines, broadcasting, receiving and clock, for correct operation of this arrangement. The next configuration uses an optical transmitter TOTX173 and optical receiver TORX173 assembled to pcb (Fig. 6). They are THOSIBA elements working on the wave length of 660 nm [3]. The last proposed solution is a WDM system (Wavelength Division Multiplexing) enabling simultaneous sending signals SCL and SDA over one optical track [1].

Keywords: I²C bus, optical fiber, LED, photodetector, WDM.

1. Magistrala I²C

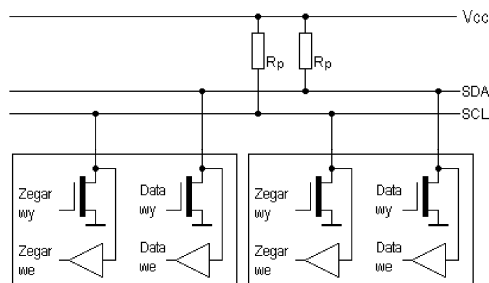
Magistrala I²C wzięła swoją nazwę od skrótu angielskiej nazwy Inter Integrated Circuit bus. Łącze to zostało opracowane i opatentowane przez firmę Philips w latach 80-tych ubiegłego wieku.

I²C jest szyną synchroniczną, w której dane przesyłane są szeregowo w postaci 8-bitowych ramek [4]. Składa się ona właściwie z dwóch linii sygnałowych: SDA (linia danych – Serial Data Line), SCL (linia zegara – Serial Clock Line) oraz obwodu masy. Schemat systemu z szyną I²C znajduje się na rys. 1.



Rys. 1. Schemat systemu z szyną I²C
Fig. 1. Schematic diagram of I²C bus

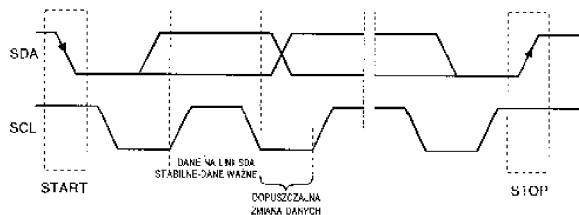
Wszystkie końcówki SCL i SDA układów podłączonych do szyny są typu otwarty kolektor (bipolarne) lub otwarty dren (CMOS i NMOS) oraz podłączone przez rezystory do napięcia zasilającego (rys. 2). Sprawia to, że stanem spoczynkowym magistrali I²C jest poziom wysoki.



Rys. 2. Schemat ideowy portów SCL i SDA
Fig. 2. Schematic diagram of SCL and SDA ports

Transmisję zawsze rozpoczyna układ Master, wysyłając sygnał startu. Układ ten jako jedyny może generować przebieg zegarowy, w takt którego wysyłane będą dane na linii SDA. Linia danych jest dwukierunkowa, służy zarówno do odczytu jak i zapisu informacji. Po bicie startu następuje wysłanie adresu urządzenia, z którym nawiązywana jest łączność. Każde z urządzeń podłączonych do linii posiada swój unikalny ośmiobitowy adres. Naj-

mniej znaczący bit adresu określa kierunek transmisji (0 – Master wysyła dane, 1 – Master odbiera dane). Po wysłaniu/odbiorze ośmiu bitów, Master oczekuje na wysyła sygnał zwany ACK (Acknowledge – potwierdzenie poprawnego odebrania danych). Master kończy sesję łączności generując tak zwany sygnał stopu. Sekwencja startu i stopu pokazana jest na rys. 3.



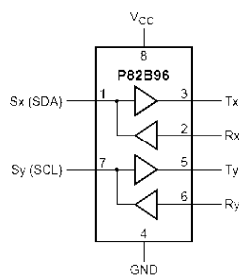
Rys. 3. Sekwencja sygnałów startu i stopu
Fig. 3. Timing diagram (start – stop sequence)

Wszystkie współcześnie produkowane układy obsługujące magistralę I²C mogą transmitować dane z prędkością do 100 kb/s (STANDARD Mode), większość z nich przystosowana jest również do szybkości (FAST Mode) wynoszącej 400 kb/s. Obecnie trwają prace nad trybem High Speed, pozwalającym przesyłać dane z prędkością 3,4 Mb/s.

Przy prędkości sięgającej 100 kb/s maksymalna pojemność całkowita szyny nie może przekroczyć 400 pF. W praktyce ogranicza to zasięg sieci do kilku – kilkunastu centymetrów. Chcąc przesyłać dane na większe odległości (kilkadziesiąt metrów) należałoby zmniejszyć pojemności montażowe, lecz jest to niemal niemożliwe, lub zredukować częstotliwość taktowania szyny, powodując ograniczenie transferu danych. Proponowanym przez nas rozwiązaniem jest zastosowanie łącza optycznego. Pozwoli to przesyłać dane na duże odległości z maksymalną prędkością.

2. Konwerter P82B96

W standardowej konfiguracji układ ten jest dwukierunkowym buforem pozwalającym na połączenie dwóch magistral I²C o różnych poziomach napięć zasilających. Wysoka wydajność prądowa wyjść Tx/Ty pozwala na przesyłanie danych linią o pojemności dochodzącej do 4000 pF. W praktyce, po zastosowaniu skrętki FTP, daje to odległość 20 metrów przy częstotliwości taktowania 400 kHz. Na rysunku 4 przedstawiono schemat blokowy układu P82B96, który w dalszych rozważaniach będzie podlegał aplikacji z optycznym łączem wykorzystującym transmisję światłowodową [2]. Zastosowanie światłowodu wynika głównie z możliwości przenoszenia szybkozmiennych sygnałów (prędkości ok. 3,4 Mb/s) na długich liniach transmisyjnych, wykorzystujących włókna optyczne.

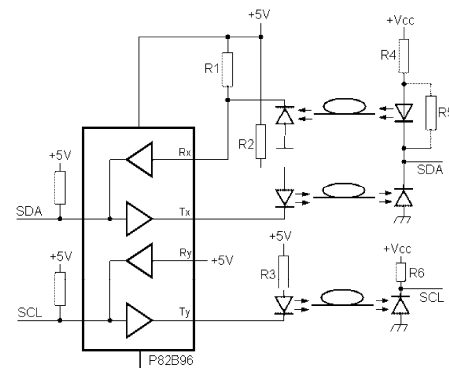


Rys. 4. Schemat blokowy układu P82B96 [3]
Fig. 4. Block diagram of P82B96 element

3. Układ LED – fotodiody PIN

Najprostszym rozwiązaniem konwersji sygnału I²C na sygnał optyczny jest układ zaprezentowany na rysunku 5, wykorzystujący jako źródło promieniowania diodę LED pracującą na długości fali $\lambda = 940$ nm. Odbiornikiem sygnału jest fotodiody PIN o maksy-

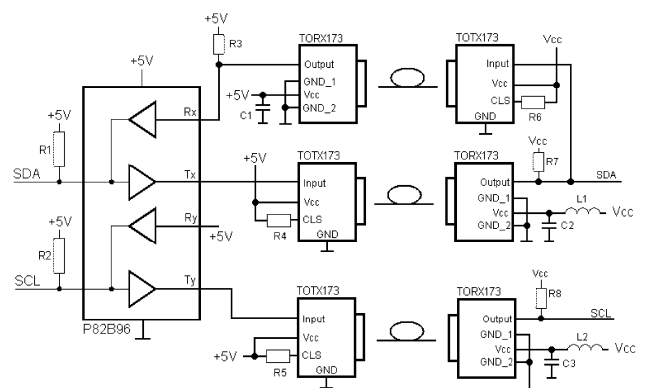
malnej czułości dla długości fali 940 nm. Wykorzystanie fotodiody PIN wiąże się z szybkością jej działania (czas narastania i opadania zbocza wynosi około 2,5 ns). W celu prawidłowego funkcjonowania układu konieczne jest zastosowanie trzech oddzielnych torów światłowodowych – nadawczego, odbiorczego i zegarowego. Takie rozwiązanie jest zbliżone do klasycznej transmisji przewodem miedzianym, jest jednak niewrażliwe na jakiegokolwiek zakłócenia pola elektromagnetycznego. Docelowo możliwe jest zastosowanie dowolnie długiej linii światłowodowej, w której zastosować można regeneratory sygnału, powiększające zasięg transmisji z 500 m do 2 km (światłowody PCS i szklane).



Rys. 5. Układ konwertera z zastosowaniem LED i fotodiody PIN
Fig. 5. Converter system with LED and photodiode PIN application

4. Układ TOSLINK

Kolejnym rozwiązaniem jest zastosowanie układu z nadajnikiem TOTX173 i odbiornikiem światłowodowym TORX173 montowanym do druku przedstawionego na rysunku 6. Są to elementy firmy TOSHIBA pracujące na długości fali $\lambda=660$ nm [3]. To rozwiązanie pozwala na łatwiejszy montaż z uwagi na znormalizowane wyprowadzenia. Dystans transmisji jest uzależniony od jakości zastosowanego światłowodu i wynosi przykładowo 10 m dla włókna polimerowego 970/1000 um. Podawana przez producenta maksymalna prędkość transmisji wynosi 6 Mb/s. Tak jak w przypadku układu dioda nadawcza LED – fotodiody PIN, wymagane są trzy tory sygnałowe. Zaletą rozwiązania opartego na systemie TOSLINK jest unifikacja konektorów i możliwość wykorzystania najtańszych włókien polimerowych. Możliwa jest również regeneracja sygnału optycznego, podobnie jak w klasycznych liniach transmisyjnych.



Rys. 6. Konwerter optyczny z zastosowaniem elementów TOSLINK [3]
Fig. 6. Optical converter with TOSLINK elements

5. Układ z modulacją WDM

Ostatnim proponowanym rozwiązaniem jest zastosowanie modulacji WDM (Wavelength Division Multiplexing) umożliwiającej jednoczesne przesyłanie sygnałów SCL i SDA jednym torem

światłowodowym. Zastosowany w układzie multiplekser przyporządkowuje sygnałom różne długości fali, dzięki czemu propagują się one w światłowodzie bez jakichkolwiek sprzężeń czy interferencji. Układy oparte na modulacji WDM wykorzystują drugie (1310 nm) bądź trzecie okno transmisyjne (1550 nm) [1]. Podstawową cechą takich układów jest ich przezroczystość dla różnych przepływności i rodzajów modulacji oraz możliwość pracy na długościach torów optycznych rzędu od 80 km do 140 km. Liczba kanałów możliwych do propagacji włóknem optycznym wynosi od 2 do nawet kilkuset. Wadą tego rozwiązania jest znaczna dyspersja włókien optycznych i akumulacja zniekształceń sygnału w torach o długościach rzędu kilkunastu kilometrów. Rozpatrując zatem wykorzystanie systemu WDM w magistrali I²C, transmisja odbywać się może jednym torem światłowodowym, z wykorzystaniem wielu niezależnych linii sterujących. O ile redukcja torów optycznych w systemach WDM jest korzystna, to problemem jest znaczny koszt takiego rozwiązania.

6. Podsumowanie

Magistrala I²C, ze względu na swą prostotę implementacji, jest niezwykle popularna w sterowaniu systemów mikroprocesorowych oraz układów sterujących. Właściwości związane z częstotliwościami pracy takiej szyny narzucają ostry reżim jakości połączeń elektrycznych oraz długości linii. W najgorszych przypadkach linia może przestać pracować już na odcinku kilku centymetrów. Rozwiązaniem problemu jest wykorzystanie transmisji światłowodowej, niewrażliwej na działanie pola elektromagnetycznego, trudnej do podsłuchu, nieprzewodzącej prądu (bezpie-

czeństwo w systemach zagrożonych wybuchem). W celu dołączania kolejnych układów sterujących do pojedynczej optycznej linii transmisyjnej, należy zastosować optyczne elementy sprzęgające, zaś w liniach dalekosiężnych użyć wzmacniaczy czy regeneratorów sygnału. W praktyce nie spotyka się raczej magistrali o długościach przekraczających 1000m, zatem warto rozważyć użycie jako medium transmisyjnego tanich światłowodów polimerowych lub PCS, które pomimo znacznej tłumienności pozwolą na propagację sygnału użytecznego na kilkusetmetrowe odcinki.

Przedstawiona koncepcja magistrali światłowodowej I²C będzie zrealizowana we wszystkich wspomnianych technikach przesyłania sygnału, począwszy od układu typu LED-fotodioda, poprzez transmisję TOSLINK, zaś wyniki badań zaprezentowane będą w najbliższym czasie.

Pracę zrealizowano w Politechnice Białostockiej w ramach pracy statutowej S/WE/2/08.

7. Literatura

- [1] Bielecki Z.: Detekcja sygnałów optycznych, WNT, Warszawa 2001.
- [2] Karta katalogowa konwertera Philips P82B96.
- [3] Karta katalogowa układu Toshiba TOTX/TORX 173.
- [4] <http://www.i2c-bus.org>

otrzymano / received: 02.11.2009

przyjęto do druku / accepted: 04.01.2010

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Informacje dla Autorów

Redakcja przyjmuje do publikacji tylko prace oryginalne, nie publikowane wcześniej w innych czasopismach. Redakcja nie zwraca materiałów nie zamówionych oraz zastrzega sobie prawo redagowania i skracania tekstów oraz streszczeń.

Artykuły naukowe publikowane w czasopiśmie PAK są formatowane jednolicie zgodnie z ustaloną formatką zamieszczoną na stronie redakcyjnej www.pak.info.pl. Dlatego artykuły przekazywane redakcji należy przygotowywać w edytorze Microsoft Word 2003 (w formacie DOC) z zachowaniem:

- wielkości czcionek,
- odstępów między wierszami tekstu,
- odstępów przed i po rysunkach, wzorach i tabelach,
- oznaczeń we wzorach, tabelach i na rysunkach zgodnych z oznaczeniami w tekście,
- układu poszczególnych elementów na stronie.

Osobno należy przygotować w pliku w formacie DOC notki biograficzne autorów o objętości nie przekraczającej 450 znaków, zawierające podstawowe dane charakteryzujące działalność naukową, tytuły naukowe i zawodowe, miejsce pracy i zajmowane stanowiska, informacje o uprawianej dziedzinie, adres e-mail oraz aktualne zdjęcie autora o rozmiarze 3,8 x 2,7 cm zapisane w skali odcieni szarości lub dołączone w osobnym pliku (w formacie TIF).

Wszystkie materiały:

- artykuł (w formacie DOC),
- notki biograficzne autorów (w formacie DOC),
- zdjęcia i rysunki (w formacie TIF lub CDR),

prosimy przysyłać w formie plików oraz dodatkowo jako wydruki na białym papierze (lub w formacie PDF) na adres e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl lub pocztą zwykłą, na adres: Redakcja Czasopisma Pomiary Automatyka Kontrola, Asystent Redaktora Naczelnego Agnieszka Skórkowska, ul. Akademicka 10, p.21A, 44-100 Gliwice.

Wszystkie artykuły naukowe są dopuszczane do publikacji w czasopiśmie PAK po otrzymaniu pozytywnej recenzji. Autorzy materiałów nadesłanych do publikacji są odpowiedzialni za przestrzeganie prawa autorskiego. Zarówno treść pracy, jak i wykorzystane w niej ilustracje oraz tabele powinny stanowić dorobek własny Autora lub muszą być opisane zgodnie z zasadami cytowania, z powołaniem się na źródło cytatu.

Przedrukowywanie materiałów lub ich fragmentów wymaga pisemnej zgody redakcji. Redakcja ma prawo do korzystania z utworu, rozporządzania nim i udostępniania dowolną techniką, w tym też elektroniczną oraz ma prawo do rozpowszechniania go dowolnymi kanałami dystrybucyjnymi.